SCIENCE DU SOL n° 1985/4 - pp. 227-237 - PLAISIR-FRANCE

COMPORTEMENT DE DIFFERENTES ESSENCES FORESTIERES SUR LES SOLS A HYDROMORPHIE TEMPORAIRE

M. BELGRAND et G. LEVY

RESUME

Cet article fait un tour d'horizon succint des recherches, effectuées en conditions naturelles, en plantations expérimentales, et en milieu contrôlé, destinées à faciliter la mise en valeur forestière des sols à hydromorphie temporaire.

La régénération de la chênaie « naturelle », ainsi que la croissance des chênes pédonculé, sessile et rouge, ont été étudiées, notamment sur pseudogleys acides. L'importance, très variable selon l'espèce, de la texture du sol, a été mise en évidence. D'autre part, la bonne résistance à l'hydromorphie du chêne pédonculé au stade juvénile, par rapport notamment au chêne rouge, a pu être reliée à ses adaptations racinaires.

En ce qui concerne les résineux, les études sur adultes et en plantation permettent dès à présent de conseiller les reboiseurs. Les essais en milieu contrôlé ont abouti au classement d'un certain nombre d'espèces quant à leur résistance respective à l'hydromorphie, classement en accord avec leurs réactions racinaires. Enfin, la nutrition azotée et l'alimentation en eau de jeunes épicéas ont été étudiées en présence d'une nappe dans le sol.

INTRODUCTION

Les sols forestiers à hydromorphie temporaire prononcée et superficielle couvrent des surfaces étendues dans l'Est et le Centre de la France. Leur mise en valeur constitue ainsi un des principaux problèmes qui se posent aux gestionnaires forestiers.

S'il envisage, ce qui est fréquent, l'introduction d'une nouvelle espèce, le gestionnaire aura souvent le choix entre une essence adaptée aux conditions de station, notamment à l'hydromorphie, qu'il pourra planter en l'absence d'assainissement, et une essence moins adaptée, mais plus performante, qui nécessitera un assainissement préalable.

A ce sujet, il faut préciser que le drainage des parcelles pose en forêt des problèmes d'ordre technique, théorique et économique. En effet, d'une part, l'utilisation de drains enterrés est impossible, car ils risqueraient d'être colmatés par les racines des arbres ; il faut donc assainir par fossés ou alors par modelage du sol, en particulier par billons, si le plancher du pseudogley est trop superficiel. Mais l'utilisation des formules du drainage agricole pour calculer l'écartement des fossés n'est guère possible, d'une part par manque de données concernant les essences forestières (par exemple, durée critique de submersion du système racinaire, périodicité admissible de cette submersion), d'autre part parce que, sur ces sols très

I.N.R.A. - C.N.R.F. : Laboratoire « Sols et Nutrition des Arbres Forestiers ». Champenoux, 54280 Seichamps.

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

hydromorphes, on aboutirait très souvent à des écartements optimum très faibles, incompatibles avec des entretiens mécaniques périodiques, et sans doute non rentables en raison de la longueur des rotations en forêt. Ainsi, seuls des essais d'introduction avec et sans différents types d'assainissement adaptés au contexte forestier peuvent-ils permettre de proposer des solutions pour chaque situation pédologique.

Des études sont menées depuis un certain nombre d'années au sein du laboratoire « Sols et Nutrition des Arbres Forestiers » de l'I.N.R.A., souvent en collaboration, notamment avec d'autres unités du département des « Recherches Forestières », en vue d'améliorer la mise en valeur de ces sols. Elles sont effectuées à trois niveaux complémentaires, afin d'acquérir l'ensemble des connaissances souhaitées : études en forêt sans intervention sur le milieu, plantations expérimentales, études en milieu contrôlé.

Nous allons présenter d'une manière succinte et synthétique ces études, et surtout les résultats acquis à l'heure actuelle.

I. ETUDES SUR LES CHENES

Les chênes pédonculé et rouvre constituent les essences de base sur les sols à hydromorphie temporaire dans la moitié Nord de la France ; ils posent cependant des problèmes de régénération naturelle et de productivité (et même, dans certains cas, de dépérissement).

A) Etudes sur la régénération naturelle

D'une façon générale, la régénération naturelle du chêne est difficile sur tous les sols (faible périodicité et forte irrégularité des glandées). Cette difficulté est accrue sur les sols à hydromorphie temporaire par les remontées brutales des nappes qui interviennent lors des coupes d'ensemencement. On observe ainsi très souvent, même après une forte glandée, une disparition complète des semis au bout de 2 à 4 ans.

Une étude menée en forêt de Mondon (Meurthe-et-Moselle) sur un pseudogley acide a montré que le facteur essentiel qui entravait l'installation des semis, puis qui provoquait leur disparition, était la concurrence exercée par des plantes herbacés sociales de type molinie (*Molinea coerulea* L. (Moench.)) ou carex (*Carex brizoïdes* L.) (BECKER et LEVY, 1983).

B) Etudes sur peuplements adultes

1. Chênes indigènes (pédonculé et sessile)

Dans le Nord-Est de la France, les chênaies installées sur sols hydromorphes développés sur les argiles des formations géologiques du Secondaire, recouvertes d'une couche de limons, présentent une chute très nette de leur productivité lorsque la couche de limons est inférieure à 30 cm, c'est-à-dire sur les « pélosols-pseudogleys » : on observe une diminution marquée de la hauteur dominante et un peuplement très mal venant.

Sur certains pseudogleys à texture plus grossière, on observe aussi une baisse de la productivité : une étude menée sur pseudogley secondaire acide (sur alluvions anciennes) a permis de comparer la croissance des chênes pédonculé et sessile dans des stations dégradées à l'hydromorphie superficielle et très marquée (peuplement très clair où le taillis a pratiquement disparu) (BECKER et LEVY, sous presse) ;

— la croissance du chêne pédonculé est nettement affectée dans les stations les plus dégradées et hydromorphes.

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

— la croissance radiale moyenne du chêne sessile est alors supérieure de 27 % à celle du pédonculé.

— un drainage par fossés permet d'augmenter significativement la croissance du chêne sessile ; par contre, l'effet est nul, voire dépressif, sur le chêne pédonculé.

La principale conclusion de cette étude est que sur ce type de sol hydromorphe, pauvre et à texture grossière, donc à faible rétention en eau utile, le chêne sessile est mieux adapté que le chêne pédonculé en raison d'une plus grande résistance à la sécheresse, laquelle prendrait alors le pas sur la meilleure résistance à l'hydromorphie du pédonculé. Ce point de vue est confirmé à la suite des études menées en forêt de Troncais (Allier), sur des sols hydromorphes à texture sableuse, des « pseudogley-podzoliques » ; sur ces sols, le comportement des deux espèces à la suite de la sécheresse exceptionnellement prolongée de 1976 se différencie encore plus, puisque le pédonculé a dépéri contrairement au sessile (BECKER et LEVY, 1982).

2. Chêne rouge d'Amérique

Le chêne rouge *(Quercus borealis* Michx.) est une essence très prometteuse (forte croissance juvénile, bonnes qualités technologiques du bois, réputation de frugalité) que les gestionnaires envisagent d'introduire dans les stations à problèmes, notamment hydromorphes.

Une étude préliminaire réalisée pour mettre en liaison la productivité du chêne rouge adulte sur les sols hydromorphes et les caractéristiques stationnelles (BELGRAND, 1983) a montré l'importance de la texture du sol :

— sur les pseudogley à texture fine (limono-argileuse à argileuse), et a fortiori sur les pélosol-pseudogley, le chêne rouge semble être très affecté par une hydromorphie superficielle.

— sur les pseudogley à texture grossière (sableuse), le chêne rouge tolère par contre une hydromorphie beaucoup plus superficielle.

C) Plantations expérimentales de chêne pédonculé

Il s'agit de plantations âgées d'une dizaine d'années et implantées sur deux sols bien représentatifs, à hydromorphie très superficielle (pseudogley sur alluvions anciennes et pélosols-pseudogley sur Keuper recouvert de limons). Trois modalités d'assainissement sont testées (billons, fossés espacés de 10 à 20 m) combinées ou non à une fertilisation complète NPK :

— sur pseudogley, le drainage n'a aucun effet ni sur la survie ni sur la croissance initiale du chêne.

— par contre sur pélosol-pseudogley, le drainage par billons réduit nettement la mortalité et augmente significativement la croissance des plants (Fig. 1) à titre d'exemple, après 7 années de végétation un billonnage augmente la croissance de 40 %, et de 60 % si on le combine à une fertilisation).

D) Comportement comparé des trois espèces de chêne en milieu contrôlé

Des études portant sur des semis et jeunes plants soumis à un engorgement de plus de 3 mois, appliqué en début de saison de végétation, ont montré que sur un sol à texture limono-sableuse, le chêne pédonculé se comporte légèrement mieux que le sessile en présence d'une nappe très superficielle : le niveau critique de la nappe (à partir duquel la croissance est affectée) se situe vers — 8 cm de la surface du sol pour le sessile et — 5 cm pour le pédonculé (LEVY, BECKER, GARREAU, sous presse).

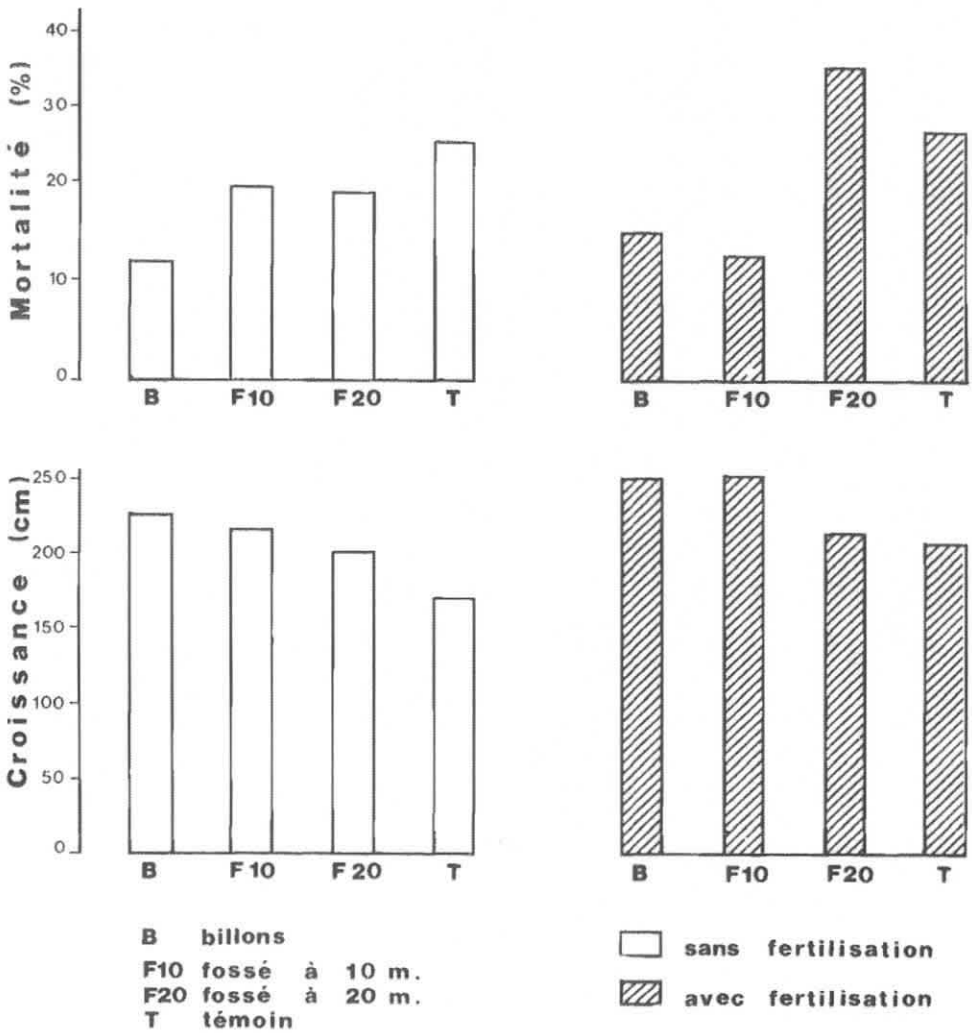

Figure 1 : Mortalité et croissance du chêne pédonculé sur pélosol-pseudogley (7 ans après la plantation).

Mortality and growth of Quercus robur *on pelosol-pseudogley (7 years after the plantation. (B = ridges, F_{10}, F_{20} = ditches distant of 10 or 20 m ; T = control).*

En ce qui concerne le chêne rouge, les résultats obtenus en milieu contrôlé confirment ceux de terrain : il se révèle être très sensible à la présence d'une nappe superficielle dans un sol à texture limono-argileuse ; la très nette différence de comportement du chêne rouge (espèce sensible) et du chêne pédonculé (espèce résistante), telle qu'on l'observe au niveau aérien, s'explique par leur réponse respective au niveau racinaire (BELGRAND, 1983). L'étude de la morphogénèse et de la dynamique racinaire en présence d'une nappe montre ainsi que le chêne pédonculé est caractérisé par un enracinement colonisant au moins tout le sol au-dessus de

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

la nappe, et formée entre autres de racines « adaptées », présentant notamment par une augmentation de leur porosité ; le système racinaire du chêne rouge est par contre limité aux zones les mieux aérées du sol et ne comporte pas de racines adaptées (Fig. 2). Les semis de chêne pédonculé, contrairement à ceux de chêne rouge, mettent aussi en place des adaptations anatomiques à l'ennoyage telles que l'hypertrophie des lenticelles et l'augmentation de la porosité des différents types de racines (pivot, racines secondaires). Le rôle de ces adaptations serait de faciliter un transport interne d'oxygène des zones les mieux aérées jusqu'aux extrémités des racines, compensant ainsi l'oxygénation insuffisante de la rhizosphère (Fig. 3).

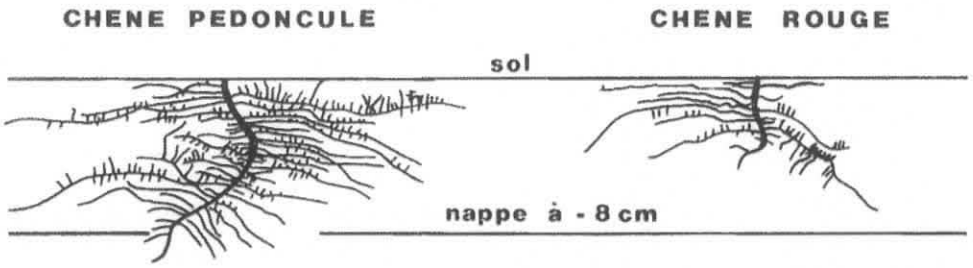

Figure 2 : Systèmes racinaires de semis de chêne pédonculé et rouge après 2 mois d'ennoyage.

Effect of flooding for 2 months on root system of Quercus robur *(left) and* Quercus borealis *(right) seedlings. (2 month-old seedlings).*

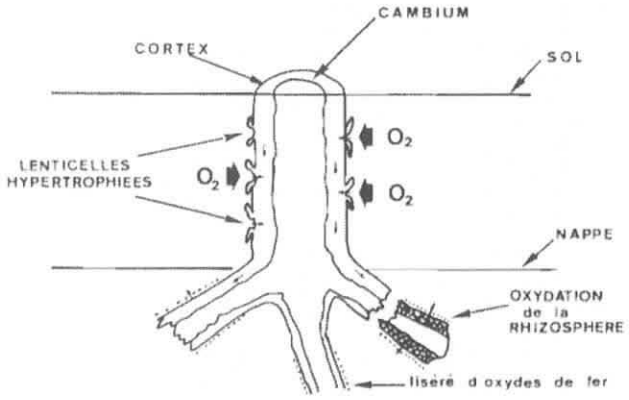

Figure 3 : Schéma illustrant le transport interne d'oxygène chez les végétaux résistants à un excès d'eau dans le sol (d'après HOOK D.D., SCHOLTENS J.R., 1978).

Model illustrating the diffusion pathway of oxygen from the atmosphere to the rhizosphere of flood-resistant seedlings (from HOOK D.D., SCHOLTENS J.R., 1978).

II. ETUDES SUR LES RESINEUX

A) Peuplements adultes

Une étude des relations station-nutrition-production de l'épicéa commun a été réalisée dans une gamme très large de sols à hydromorphie temporaire du nord-est de la France (DECOURT et LEVY, 1974). Cette espèce, très plastique, a en effet été fort utilisée en reboisement, notamment sur sols hydromorphes.

Il est apparu que la production varie, en fonction de la station, de 4 à 22 m3/ha/an, et qu'elle est très liée à la teneur du sol en argile, à son indice d'instabilité structurale et à la hauteur d'apparition de la nappe à une date de référence (LEVY, 1978). Ces facteurs défavorables contribuent à la baisse de production en réduisant la profondeur prospectée par les racines et en perturbant leur fonctionnement. Il y a ainsi une forte accentuation du déficit hydrique d'été, et l'apparition d'une carence azotée au cours des années humides.

Pratiquement, l'épicéa a un comportement très honorable sur la plupart des sols à hydromorphie temporaire. Les faibles productions (classes 4 à 6) apparaissent lorsque le plancher du pseudogley est très argileux et proche de la surface, notamment sur pélosols-pseudogley.

B) Essais d'introduction avec et sans assainissement

Les deux expériences les plus anciennes ont été mises en place en 1969 sur les deux mêmes types de sols que pour le chêne (pseudogley sur alluvions, pélosol-pseudogley sur marnes du Keuper recouvertes d'une mince couche de limons). La plupart des espèces ont donc 16 ans au printemps 1985, mais d'autres sont plus jeunes.

Les résultats qui suivent ne sont donnés qu'à titre provisoire et sous réserve, car les arbres sont encore loin d'avoir atteint leur âge d'exploitation.

1. Pseudogley

L'assainissement par fossés (écartement 10 ou 20 m) est plus efficace que celui par billons (dénivellé : 0,50 m ; distance entre 2 billons : 2,50 m).

Pour trois espèces, l'assainissement ne saurait, jusqu'à présent, être recommandé :

— l'épicéa commun a un bon comportement même en l'absence d'assainissement : mortalité inférieure à 10 %, bonne croissance (hauteur actuelle, rythme depuis l'origine) ;

— le pin Weymouth a une très bonne croissance, que le drainage n'améliore guère. Malheureusement, la mortalité dûe à la rouille vésiculeuse est élevée (40 à 45 %), avec ou sans assainissement ;

— le pin laricio de Calabre (plus jeune), présente pour le moment un rythme de croissance satisfaisant ; une certaine mortalité (21 %) ne semble pas liée à l'hydromorphie.

Le drainage par fossés semble par contre nécessaire pour deux espèces :

— le mélèze d'Europe avec, chez le témoin non drainé, 27 % de mortalité et une croissance dont l'hydromorphie ralentit sensiblement le rythme depuis quelques années ;

— le douglas, encore très jeune, pour lequel le drainage permet de réduire la mortalité de 36 % à 8 % et de présenter une bonne croissance juvénile.

2. Pélosol-pseudogley

Dans ce cas, il ne faut pas s'en étonner, l'assainissement par billons s'avère plus efficace que celui par fossés ; en effet, la faible épaisseur de sol perméable

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

ne permet pas d'obtenir un rabattement sensible de la nappe entre deux fossés, même si l'écartement est de 10 m. Une seule espèce peut, pour le moment, être conseillée sans assainissement : le pin sylvestre, dont la mortalité est faible et la croissance honorable. Deux espèces doivent être écartées de ce type de sol, même avec assainissement :

— l'épicéa commun, dont la survie est bonne dans tous les cas, mais dont la croissance initiale est très faible, quel que soit le traitement,

— le mélèze d'Europe, dont la vitesse de croissance diminue considérablement après un bon démarrage, et celà aussi bien avec que sans assainissement.

Enfin, le douglas, qui ne peut en aucun cas s'envisager sans assainissement (70 % de mortalité), a un très bon comportement sur billons, à la fois pour la survie et la croissance.

3. Comparaison des deux expériences

Il est possible de comparer rigoureusement le comportement d'une même espèce sur les deux types de sols concernés, car les plantations ont été effectuées en même temps et à partir du même lot de plants.

On constate, et ce n'est pas surprenant, que le pélosol-pseudogley est nettement plus défavorable que le pseudogley formé sur alluvions, que l'on compare les témoins ou les traitements assainis. Ainsi, la hauteur de l'épicéa est d'environ 1,5 fois supérieure sur pseudogley, pour un même traitement (Fig. 4).

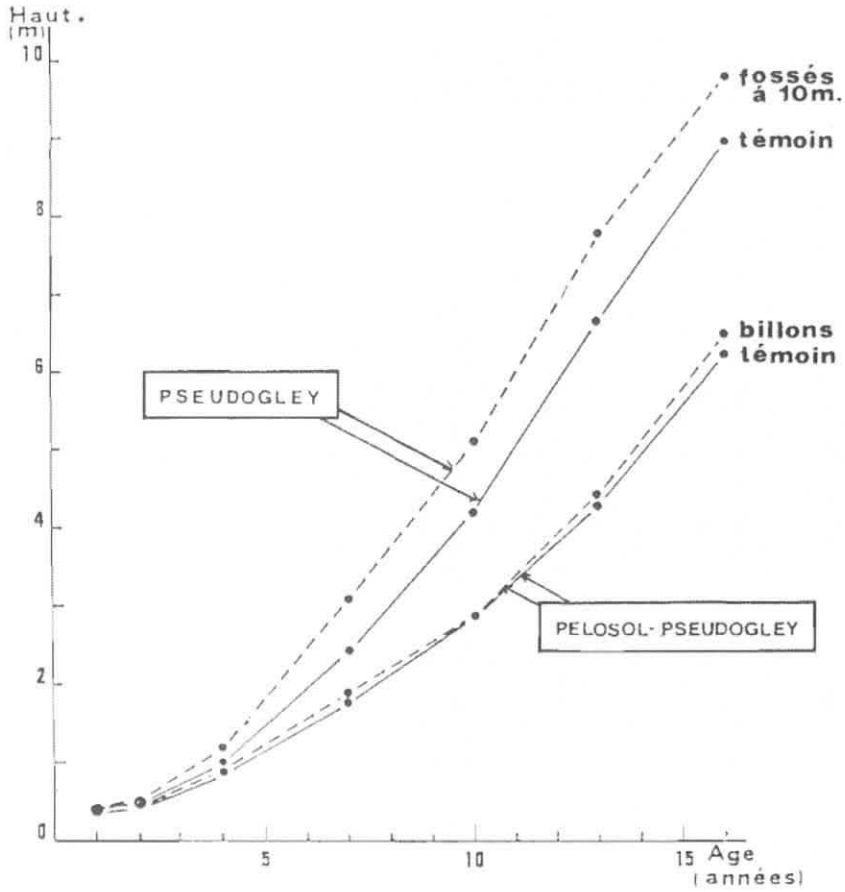

Figure 4 : Croissance de l'épicéa commun sur pseudogley et pélosol-pseudogley.

Norway spruce growth on pseudogley and pelosol-pseydogley.

C) Essais en milieu contrôlé

1. Comparaison entre espèces

Les essais ont pour but essentiel d'étudier l'influence de différents niveaux de nappe dans un sol limoneux-argileux sur le comportement d'un certain nombre d'espèces (AUGE, 1979 ; BECKEL, 1983).

Le classement relatif des espèces quant à leur résistance à la nappe s'établit globalement ainsi à la suite de ces expériences (en tenant compte à la fois de la survie et de la croissance aérienne) :

Thuya géant $\geqslant$ Pin lodgepole (*Pinus contorta*) $>$ Pin sylvestre $\geqslant$ Pin laricio de Calabre $>$ Epicéa commun $>$ Mélèze d'Europe $>$ Douglas $\simeq$ Sapin de Vancouver.

Il est en accord avec les résultats des plantations expérimentales, pour les espèces représentées aux deux niveaux d'étude.

Les réactions au niveau racinaire, tout comme dans le cas des chênes, « expliquent » bien les différences de comportement aérien. Ainsi, chez les espèces les plus sensibles à la nappe (Douglas, Sapin de Vancouver), il n'y a pas formation de racines d'adaptation, le système racinaire reste peu dense et est loin d'atteindre la nappe. Chez les espèces résistantes, il apparaît deux types d'adaptation :

— Celui se manifestant chez le pin lodgepole et le pin sylvestre ; il est très semblable à celui du chêne pédonculé, avec en particulier : formation de racines d'adaptation à large diamètre, atteignant la nappe et pénétrant quelque peu dans celle-ci (la fertilisation favorise la formation de ces racines) ; forte hypertrophie des lenticelles,

— celui du thuya géant ; dans ce cas, le système racinaire reste assez superficiel, mais il est très dense, avec notamment formation de racines adventives.

2. Fonctionnement racinaire

Ces études, faites sur l'épicéa commun, ont porté notamment sur deux points :

a) LA NUTRITION AZOTEE : un engorgement superficiel provoque très rapidement chez les plants une carence azotée, alors que le déficit en phosphore et potassium n'apparaît qu'ultérieurement (LEVY, 1981 a). En effet, en milieu saturé, l'épicéa ne peut s'alimenter en azote qu'à partir de la forme NO_3^- ; or celle-ci n'est pas disponible car, dans ces conditions de milieu, la nitrification ne se produit pas et l'azote minéral s'accumule sous la forme NH_4^+ (LEVY, 1981 b). Cette carence azotée constitue l'une des causes du mauvais comportement des plants en sol engorgé.

b) L'ALIMENTATION EN EAU : le potentiel hydrique de base des tissus aériens, qui se maintient ou même augmente pendant les premiers jours de l'engorgement, diminue ensuite rapidement si la nappe est très superficielle et peu ou pas oxygénée (GRANIER et LEVY, 1981) (Fig. 5) ; la mortalité des plants qui peut s'ensuivre est ainsi la conséquence d'un déficit hydrique dans les parties aériennes, dû au fait que les racines ne disposent pas, en conditions hypoxiques (sol engorgé), de suffisamment d'énergie pour absorber l'eau ; la carence en azote provoquée par la nappe accélère le processus.

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

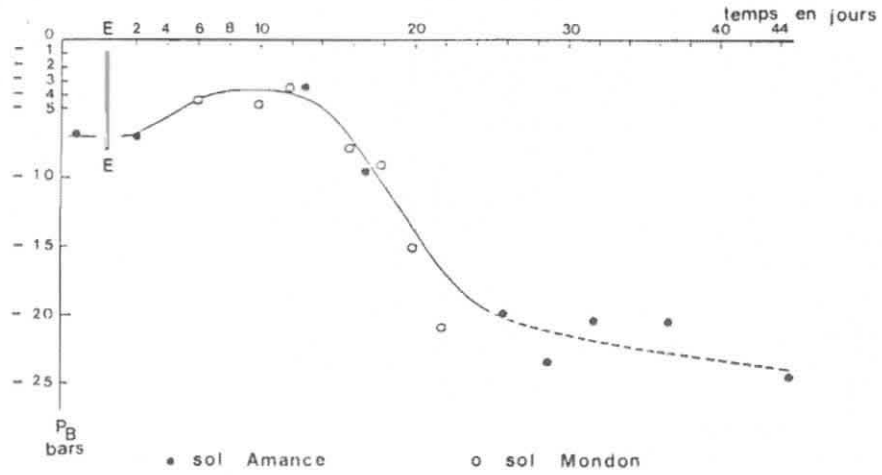

Figure 5 : Evolution du potentiel de base (P_B) en fonction du temps chez l'épicéa, après le début de l'engorgement (E), en conditions de nappe stagnante superficielle (d'après GRANIER et LEVY, 1981) (le pointillé correspond à une précision moins bonne des mesures pour des potentiels très bas).

Evolution of basic potential (P_B) as a function of time on Norway spruce, after beginning of waterlogging (E), in stagnant surface water-table conditions (from GRANIER and LEVY, 1981) (the broken part of the curve correspond to less precise measures when potentials are very low).

CONCLUSION

Le programme de recherches sur la mise en valeur des sols à hydromorphie temporaire se poursuit par des études effectués aux trois niveaux mentionnés.

Les objectifs essentiels sont les suivants :

— pour chacune des espèces les plus intéressantes, préciser le limites d'introduction souhaitable avec et sans assainissement en fonction des caractéristiques des sols,

— étendre les possibilités offertes au gestionnaire en élargisant la gamme des espèces testées, notamment à de nombreuses essences exotiques, et en s'intéressant au niveau « provenances » pour certaines d'entre elles,

— essayer d'autres types d'assainissement, tel le mélange à l'essence intéressante d'aulne glutineux, qui s'enracine très bien dans les pseudogleys (KREUTZER, 1961) et qui peut provoquer un abaissement important du niveau de la nappe (LEVY, 1982).

Reçu pour publication : Août 1985
Accepté pour publication : Octobre 1985

BEHAVIOUR OF SOME FOREST TREE SPECIES ON TEMPORARY WATERLOGGED SOILS

This article makes a general and brief survey of researches designed to help utilisation of temporary waterlogged soils in forest.

Oak, which is the main tree species on these soils, often is very hard to regenerate there. It has been shown on acid pseudogleys that the main factor responsable for the seedings death was grass competition, especially by Molinia coerulea *L. (Moench.) and*

Carex brizoides *L. On the other hand, these waterlogged soils, with very little nutrients content, a coarse texture, and a low available water holding capacity, aren't suitable for the pedunculate oak, however very common there : the adults may decline as a consequence of climatic dryness, and their growth always is much lower than that of the sessile oak, whose ecology is much more suitable to these sites. As for the red oak, its behaviour is satisfactory on coarse textured waterlogged soils, but not on fine textured one. Results of plantation experiments on pelosols-pseudogley show the effect of a ridding on the pedunculate oak growth (Fig. 1).*

In controlled conditions, young pedunculate oak plants facing a quite shallow water-table behave well, a little better than sessile oak. Red oak plants are very flood-intolerant in loamy waterlogged soil. The pedonculate oak develops very clear adaptations in is roots system, particularly a production of « adapted roots with high porosity (Fig. 2) and important hypertrophy of lenticels (Fig. 3) ; the red oak doesn't develop these adaptations.

Researches have also been done on coniferous species. A site-nutrition-production study, done on Norway spruce on waterlogged soils in the N.E. of France, has shown a quantitative link between production descreasing and soil clay content, soil structure instability index, and the level reached by the water-table.

Results of plantation experiments on typical pseudogley and pelosol-pseudogley with and without various drainage modalities, on different species, enable to give advice for afforestation of these two types of waterlogged soils (Fig. 4).

Experiments in controlled conditions result in a classification of some coniferous species according to their resistance to waterlogging (Western red Cedar ⩾ Lodgepole pen > Scots pine ⩾ Laricio pine (var. Calabrica) > Norway spruce > European larch > Douglas fir ≃ Grand fir) ; roots reactions of these species to waterlogging explain their aerial behaviour differences. It also has been shown that, and explained why, a shallow waterlogging very quickly causes nitrogen deficiency in the Norway spruce, and if it continued, could result in the plants death because of an important decreasing of their water basic potential (Fig. 5).

BIBLIOGRAPHIE

AUGE C., 1979 — Etude comparative du comportement juvénile de quelques essences forestières en milieu hydromorphe. Influence de l'assainissement du sol et de la fertilisation. Mémoire 3e année ENITEF, 77 p.

BECKEL J., 1983. — Autécologie de différentes espèces résineuses en milieu hydromorphe. Etude des adaptations racinaires. Mémoire de 3e année ENITEF, 85 p.

BECKER M., LEVY G., 1982. — Le dépérissement du chêne en forêt de Tronçais. Les causes écologiques. Ann. Sci. Forest. 39 (4), 439-444.

BECKER M., LEVY G., 1983. — Installation et dynamique d'une population de semis de chêne en milieu hydromorphe sous l'influence de divers facteurs (lumière, régime hydrique, compétition herbacée). Acta Œcologica, Œcol. plant., 4 (18), 3, 299-317.

BECKER M., LEVY G., 1986. — Croissance radiale comparée de chênes adultes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) sur sol hydromorphe acide. Effets du drainage. Acta Œcologica, Œcol. Plant. 7 (1).

BELGRAND M., 1983. — Comportement de jeunes plants feuillus sur substrat ennoyé. Adaptations racinaires. Application à la mise en valeur forestière des pseudogleys. Thèse de Docteur Ingénieur, I.N.A. Paris-Grignon, 188 p.

DECOURT N., LEVY G., 1974. — La productivité de l'épicéa commun sur les sols hydromorphes de Lorraine : mesure et caractéristiques générales. Ann. Sci. Forest. 31 (2), 71-82.

GRANIER A., LEVY G., 1981. — Influence des conditions d'engorgement du sol sur l'évolution de l'état hydrique de jeunes plants d'épicéa (*Picea abies* L.) Ann. Sci. Forest., 38 (2), 179-198.

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

HOOK D.D., SCHOLTENS J.R., 1978. — Adaptations and flood tolerance af tree species. In Plant life in aaerobic environments, edited by HOOK D.D. and CRAWFORD R.M.M., p. 229-232. Ann Arbor Science, Michigan.

KREUTZER K., 1961. — Wulzelbildung jungen Waldbäume auf Pseudogleyböden. Forstwis. Cent. Bl, 80 (11-12), 356-392.

LEVY G., 1978. — Nutrition et production de l'épicéa commun adulte sur sols hydromorphes en Lorraine : liaisons avec les caractéristiques stationnelles. Ann. Sci. Forest., 35 (1), 33-53.

LEVY G., 1981 a. — Comportement de jeunes plants d'épicéa commun en sol à engorgement temporaire de surface : influence de divers facteurs du milieu. Ann. Sci. Forest., 38 (1), 3-30.

LEVY G., 1981 b. — La nutrition azotée de l'épicéa en sol engorgé : étude expérimentale. Ann. Sci. Forest., 38 (2), 163-178.

LEVY G., 1982. — Estimation de l'utilité d'une introduction d'aulne glutineux en mélange à de jeunes plants d'épicéa commun sur sol à hydromorphie temporaire superficielle. Ann. Sci. Forest. 39 (1), 33-40.

LEVY G., BECKER M., GARREAU B. (sous presse). — Comportement comparé de jeunes plants de chêne pédonculé, chêne sessile et hêtre en présence d'une nappe d'eau dans le sol. Ann. Sci. Forest.